

4

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-186217

(43)Date of publication of application : 02.07.2004

(51)Int.Cl. H01S 3/10  
 H04B 10/02  
 H04B 10/04  
 H04B 10/06  
 H04B 10/14  
 H04B 10/16  
 H04B 10/17  
 H04B 10/18

(21)Application number : 2002-348450

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 29.11.2002

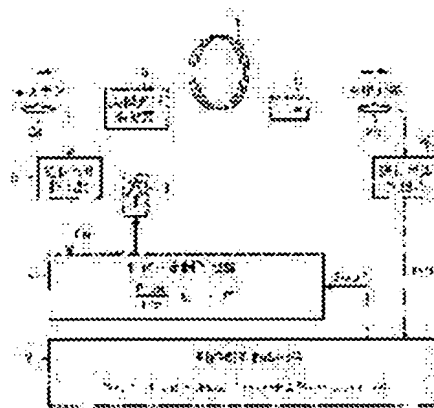
(72)Inventor : SUZUKI MASAO  
 SHIMA HIROMOTO

## (54) OPTICAL AMPLIFIER

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an optical amplifier for compensating the influence of the natural discharged light, which becomes the main cause of errors at the time of constantly controlling the gain, by including the variations of the natural discharged light intensity due to non-uniformity in the rare earth doped fiber.

**SOLUTION:** In a gain error compensation circuit 7, a sum of an ASE electric signal level  $P_{ase\_homo}$  included in an output photoelectric signal level  $P_{out}$  and an electric signal level  $\Delta P_{ase\_inhomo}$  corresponding to an ASE intensity variation is previously set as the gain compensation level  $\Delta G$ , and the circuit generates an output an electric signal correction level  $P_{out}'$  obtained by subtracting the gain compensation level  $\Delta G$  from the output photoelectric signal level  $P_{out}$ . A gain constant control circuit 8 controls an excitation light source 4 so that a level ratio of the output photoelectric signal correction level  $P_{out}'$  generated from the gain error compensation circuit 7, and an input photoelectric signal level  $P_{in}$  always becomes a constant ratio  $G$ .



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 10.02.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2004-186217  
(P2004-186217A)

(43) 公開日 平成16年7月2日(2004.7.2)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
H O 1 S 3/10	H O 1 S 3/10	5 F 0 7 2
H O 4 B 10/02	H O 4 B 9/00	5 K 1 0 2
H O 4 B 10/04	H O 4 B 9/00	
H O 4 B 10/06	H O 4 B 9/00	
H O 4 B 10/14		

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 12 頁) 最終頁に続く

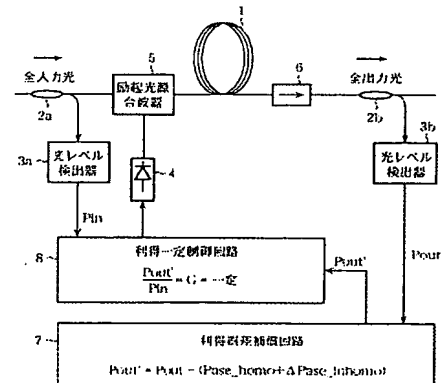
(21) 出願番号	特願2002-348450 (P2002-348450)	(71) 出願人	000006013
(22) 出願日	平成14年11月29日 (2002.11.29)		三菱電機株式会社
			東京都千代田区丸の内二丁目2番3号
		(74) 代理人	100066474
			弁理士 田澤 博昭
		(74) 代理人	100088605
			弁理士 加藤 公延
		(72) 発明者	鈴木 巨生
			東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
			菱電機株式会社内
		(72) 発明者	島 浩基
			東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
			菱電機株式会社内
		Fターム (参考)	5F072 AB07 AK06 HH02 HH08 JJ05
			PP07 YY17
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光増幅器

(57) 【要約】

【課題】 利得一定制御する際に誤差要因となる自然放光の影響を、希土類ドープファイバにおける不均一性に起因する自然放光強度変化量をも含めて補償することができる光増幅器を得る。

【解決手段】 利得誤差補償回路7は、出力光電気信号レベル $P_{out}$ に含まれるASE電気信号レベル $P_{ase\_homo}$ とASE強度変化量に対応した電気信号レベル $\Delta P_{ase\_inhomo}$ との和を利得補償レベル $\Delta G$ として予め設定され、出力光電気信号レベル $P_{out}$ からその利得補償レベル $\Delta G$ を減算した出力電気信号補正レベル $P_{out}'$ を発生し、利得一定制御回路8は、その利得誤差補償回路7から発生された出力電気信号補正レベル $P_{out}'$ と入力光電気信号レベル $P_{in}$ とのレベル比が、常に一定の比率 $G$ となるように励起光源4を制御する。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

希土類ドープファイバに励起光を出力する励起光出力手段と、

上記希土類ドープファイバへの入力信号光の強度を検出し、入力光電気信号レベルに変換する入力光レベル検出手段と、

上記希土類ドープファイバからの出力信号光の強度を検出し、出力光電気信号レベルに変換する出力光レベル検出手段と、

上記入力光レベル検出手段により検出された入力光電気信号レベル、上記出力光レベル検出手段により検出された出力光電気信号レベル、予め設定されその検出された出力光電気信号レベルに含まれる自然放出光電気信号レベル、および予め設定され入力信号光条件の変化に応じた自然放出光強度変化量に対応した電気信号レベルに基づいて上記励起光出力手段を制御し、当該光増幅器を利得一定制御する制御手段とを備えた光増幅器。

## 【請求項 2】

制御手段は、

自然放出光電気信号レベルと自然放出光強度変化量に対応した電気信号レベルとの和を利得補償レベルとして予め設定し、出力光電気信号レベルからその利得補償レベルを減算した出力電気信号補正レベルを発生する利得誤差補償回路と、

上記利得誤差補償回路から発生された出力電気信号補正レベルと入力光電気信号レベルとのレベル比が、常に一定の比率となるように励起光出力手段を制御する利得一定制御回路とを備えたことを特徴とする請求項 1 記載の光増幅器。

## 【請求項 3】

利得誤差補償回路は、

自然放出光強度変化量が最も大きくなる波長において利得補償レベルを設定することを特徴とする請求項 2 記載の光増幅器。

## 【請求項 4】

励起光出力手段は、

励起光源からの励起光が入力信号光と同じ方向に希土類ドープファイバに入力される前方励起型励起光源であることを特徴とする請求項 1 記載の光増幅器。

## 【請求項 5】

励起光出力手段は、

励起光源からの励起光が入力信号光と同じ方向に希土類ドープファイバに入力される前方励起型励起光源と、励起光源からの励起光が入力信号光と逆方向に上記希土類ドープファイバに入力される後方励起型励起光源とを備え、

利得一定制御回路は、

上記前方励起型励起光源の励起光強度と上記後方励起型励起光源の励起光強度とが常に、前方励起型励起光源の

励起光強度>後方励起型励起光源の励起光強度という関係になるように制御することを特徴とする請求項 2 記載の光増幅器。

## 【請求項 6】

利得一定制御回路は、

前方励起型励起光源の励起光強度と後方励起型励起光源の励起光強度との強度比が、入力信号光強度の変化に応じた自然放出光強度変化量が最も小さくなる比率となるように制御することを特徴とする請求項 5 記載の光増幅器。

## 【請求項 7】

入力光レベル検出手段と出力光レベル検出手段との間に挿入され、当該光増幅器における増幅波長特性と逆特性の損失波長特性を有する利得等化器を備えたことを特徴とする請求項 1 記載の光増幅器。

## 【請求項 8】

利得誤差補償回路は、

利得補償レベルを任意に設定可能な補償レベル設定器と、

出力光電気信号レベルから上記補償レベル設定器により設定された利得補償レベルを減算し、出力電気信号補正レベルを発生する減算器とを備えたことを特徴とする請求項 2 記載の光増幅器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

この発明は、波長多重光中継伝送システムにおける利得一定制御方式の光増幅器に関するものである。

## 【0002】

## 30 【従来の技術】

インターネットの普及を代表とした近年の通信需要の増大に応えるために、大容量伝送方式として波長多重伝送方式(WDM伝送方式)が活発に研究開発されている。WDM伝送システムは、異なる信号光波長を一括伝送する技術であり、任意の伝送速度を持つ信号光波長数を増やすだけで、簡便に通信容量を大幅に増加させることができる利点がある。

また、WDM伝送方式は海底ケーブルシステム等の大容量基幹通信網だけでなく、多信号光波長伝送といった利点から、メトロネットワークシステムといった伝送容量や伝送距離が柔軟に構築できる新しいネットワーク体系の重要な技術となっている。

この様なWDM伝送システムを構築するためには、異なる光波長を一括増幅可能な光中継増幅器が必須である。WDM伝送システム向け光増幅中継器は増幅帯域内の光信号を光のまま一括増幅可能な中継器であり、その簡便性がWDM技術を活性化させる大きな牽引役となっている。光中継増幅器は希土類をドープした光ファイバを増幅媒体とした光増幅器が一般的である。

## 【0003】

WDM伝送システムにおける光増幅器には、伝送品質を保つために、増幅帯域において各信号光波長レベルがほぼ一定に増幅される増幅利得の平坦性が求められる。しかし、一般にこのような希土類のレーザ放出を利用した光増幅器は、ある入力信号光強度に対する利得が平坦になるように最適化されていても、信号波長数の変化や伝送路損失の変化等で、光増幅器に入力される入力信号光強度が変化すると、光増幅器における利得が変化してしまうことで、最適利得の平坦性が変化してしまう。すなわち、入力信号光強度変化によって各波長での信号光出力強度が変化してしまうと、伝送システム中の最適な信号レベルダイヤが崩れてしまうこととなり、信号強度対雑音強度（SNR）や伝送路ファイバの非線形性の影響により伝送システムの品質を著しく劣化させてしまう。つまり、WDM伝送システムにおけるネットワークの柔軟性や自由度は光増幅器によって著しく制限されてしまうこととなる。

#### 【0004】

このような伝送システムの品質劣化を抑える方法として、光増幅器の利得を入力信号波数（強度）に関らず一定に制御する利得一定制御方式がある。

これは、希土類添加ファイバに対して前方励起とし、入力信号光パワー  $P_{in}$  および出力信号光パワー  $P_{out}$  から利得を検出する際に、希土類添加ファイバで発生する自然放出光パワーに対応する定数値（ $\neq 0$ ）として  $P_{ASE}$  を入力し、 $(P_{out} - P_{ASE}) / P_{in}$  を利得とし、この利得が一定になるように前方励起光パワーを制御する（例えば、下記特許文献1参照）。

また、この従来の技術に類似した技術として、例えば、下記特許文献2がある。

#### \*【0005】

##### 【特許文献1】

特開平11-112434号公報（p8, 図1）

##### 【特許文献2】

特開2000-349718公報

#### 【0006】

##### 【発明が解決しようとする課題】

従来の光増幅器は以上のように構成されているので、光増幅器出力光に含まれる自然放出光（ASE: Amplified Spontaneous Emission）強度を定数として利得一定制御における誤差補償を行っていた。しかし、この補償方法は希土類ドープファイバを理想的な均一特性（入力信号光レベルが変化しても、ASEレベルは変化せず一定となる特性）を持つものと仮定しており、希土類ドープファイバにおける不均一性（入力信号光レベルの変化に応じて、ASEレベルが変化する特性）に起因する利得変化成分を補償することができない。したがって、入力信号光レベル、波長数および波長変化等の入力信号光条件の変化に伴って発生する自然放出光レベルの変化が制御誤差となり、光増幅器における利得平坦性を保てる入力信号光ダイナミックレンジが狭まることや、不均一性に起因する利得変化が顕著である種類の希土類ドープファイバに適用できないなどの課題があった。

#### 【0007】

以下、上記課題を具体的に説明する。

通常、希土類ドープファイバが均一特性を持つと仮定すると、増幅媒質中の信号光パワー  $I_s$  と ASE パワー  $I_{ASE}$  の伝搬式は次式（1）のように表される。

\* 30 【数1】

$$\frac{d I_s}{d z} = (\sigma_s N_2 - \sigma_a N_1) I_s$$

$$\pm \frac{d I_{ASE}}{d z} = (\sigma_s N_2 - \sigma_a N_1) I_{ASE} \pm h\nu \sigma_s N_2 \Delta\nu$$

（1）

ここで、 $z$  は増幅媒体の光の進行方向の位置、 $N_2$ 、 $N_1$  はそれぞれ増幅準位の上準位、下準位の密度、 $\sigma_s$ 、 $\sigma_a$  はそれぞれ信号光および ASE の波長における増幅媒体の誘導放出断面積と誘導吸収断面積、 $h$  はプランク定数、 $\nu$  と  $\Delta\nu$  はそれぞれ ASE の中心周波数広がりを示す。また、ASE の伝搬を表す式の  $\pm$  はそれぞれ順方向 ASE および逆方向 ASE を表す。

#### 【0008】

上記式（1）が示すように、 $I_{ASE}$  は  $I_s$  と同様の増幅を表す式に、自然放出光を示す  $h\nu\sigma_s N_2 \Delta\nu$  の項が加わっている。このことは、増幅器利得と出力 ASE パワーは独立に決定される訳ではなく、すなわち、ASE パワーを定数として扱うことができないことを示している。しかし、同時に出力 ASE パワーが殆ど反転分布

に依存しないような条件であれば、出力ASEパワーを一定値として扱うことができると言える。すなわち、自然放光が無視できるとして上記式(1)をそれぞれ解\*

\*くと次式(2)のようになる。  
【数2】

$$I_s(L) = I_s(0) \exp \left[ \int_0^L (\sigma_s N_2 - \sigma_a N_1) dz \right]$$

$$I_{ase}(L) = I_{ase}(0) \exp \left[ \int_0^L (\sigma_s N_2 - \sigma_a N_1) dz \right]$$

(2)

ここで、 $I_s(L)$  および  $I_{ase}(L)$  は希土類ドープファイバ出力端での強度を表す。

このような近似は、希土類ドープファイバの信号光入力側の反転分布を高く保つことで成り立つと考えられる。それは、信号光入力端近傍での利得が高ければ、出力ASEパワーの殆どが、信号光入力端附近で発生したASEが希土類ドープファイバを通り増幅される成分で占められるためである。この様な条件を満たす光増幅器においては、利得一定ならばASEパワーを一定値と見なせる。

※【0009】

しかし、上記式(2)は希土類ドープファイバが均一な特性を持つと仮定した式であり、実際には希土類ドープファイバにおける不均一性により、増幅器利得が同じ場合でも入力信号光レベル、波長数および波長変化等の入力信号光条件の変化に伴ってASEレベルが変化する。すなわち、実際の希土類ドープファイバを増幅媒体とした光増幅器においては、出力端でのASEパワーは次式(3)のようになる。

※【数3】

$$I_{ase}(L) = I_{ase}(0) \exp \left[ \int_0^L (\sigma_s N_2 - \sigma_a N_1) dz \right] + \int_{\lambda} \Delta I_{ase}(I_s, \lambda, L) d\lambda$$

(3)

ここで、右辺第2項は希土類ドープファイバの不均一性に起因するASEレベル変化量であり、入力信号光レベルおよび波長 $\lambda$ に依存する。上記式(3)から分かるように信号光利得およびASE利得は一樣に対応せず、自然放光成分が近似的に無視できる場合でも、希土類ドープファイバを均一な特性として誤差補償を行なった場合には、第2項に対応する信号利得とASE利得の不整合が発生し、利得一定制御における制御誤差が発生する。

また、不均一性に起因するASE変化量は、入力信号光レベル、波長数および波長といった入力信号光条件により様々に変化するため、完全にこの影響を取り除くためには複雑な制御が必要となる。

【0010】

この発明は上記のような課題を解決するためになされたもので、利得一定制御する際に誤差要因となる自然放光の影響を、希土類ドープファイバにおける不均一性に起因する自然放光強度変化量をも含めて補償することができ、入力信号光条件、増幅器種類、および増幅器励起方式に関わらず高精度且つ簡易に利得一定制御を可能とする光増幅器を得ることを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】

この発明に係る光増幅器は、入力光レベル検出手段により検出された入力光電気信号レベル、出力光レベル検出手段により検出された出力光電気信号レベル、予め設定されその検出された出力光電気信号レベルに含まれる自然放光光電気信号レベル、および予め設定され入力信号

光条件の変化に応じた自然放出光強度変化量に対応した電気信号レベルに基づいて励起光出力手段を制御し、光増幅器を利得一定制御する制御手段を備えたものである。

#### 【0012】

##### 【発明の実施の形態】

以下、この発明の実施の一形態を説明する。

##### 実施の形態1.

図1はこの発明の実施の形態1による光増幅器を示す構成図であり、図において、光分波器2aは、希土類ドープファイバ1への入力信号光の一部を分岐し、光レベル検出器3aは、その分岐された入力信号光の強度を検出し、入力光電気信号レベルPinに変換するものである。なお、光分波器2aおよび光レベル検出器3aにより入力光レベル検出手段を構成する。

光分波器2bは、希土類ドープファイバ1からの出力信号光の一部を分岐し、光レベル検出器3bは、その分岐された出力信号光の強度を検出し、出力光電気信号レベルPoutに変換するものである。なお、光分波器2bおよび光レベル検出器3bにより出力光レベル検出手段

を構成する。励起光源4は、励起光を出力し、励起光源合波器5は、その励起光を希土類ドープファイバ1中に出力するものである。なお、励起光源4および励起光源合波器5により励起光出力手段を構成する。

アイソレータ6は、希土類ドープファイバ1と光分波器2bとの間に設けられ、光絶縁するものである。

利得誤差補償回路7は、出力光電気信号レベルPoutに含まれるASE電気信号レベルPase\_homoとASE強度変化量に対応した電気信号レベルΔPase\_inhomoとの和を利得補償レベルΔGとして予め設定され、出力光電気信号レベルPoutからその利得補償レベルΔGを減算した出力電気信号補正レベルPout'を発生するものである。また、利得一定制御回路8は、その利得誤差補償回路7から発生された出力電気信号補正レベルPout'と入力光電気信号レベルPinとのレベル比が、常に一定の比率Gとなるように励起光源4を制御するものである。なお、利得誤差補償回路7および利得一定制御回路8により制御手段を構成する。

#### 【0013】

次に動作について説明する。

図1において、入力された入力信号光の一部は光分岐器2aによって分岐され、光レベル検出器3aにより入力信号光強度が検出され、入力光電気信号レベルPinに変換される。励起光源4からの励起光は励起光源合波器5により入力信号光と共に希土類ドープファイバ1中に入力され、入力信号光は増幅される。増幅された出力信号光の一部は光分岐器2bによって分岐され、光レベル検出器3bにより出力信号光強度が検出され、出力光電

気信号レベルPoutに変換される。

次に、入力光電気信号レベルPinは利得一定制御回路8に入力され、出力光電気信号レベルPoutは利得誤差補償回路7に入力される。利得誤差補償回路7に入力された出力光電気信号レベルPoutは、希土類ドープファイバ1が均一な特性を持つとして設定された出力光電気信号レベルPoutに含まれるASE電気信号レベルPase\_homoと、入力信号光ダイナミックレンジにおいて発生する希土類ドープファイバ1の不均一性に起因するASE強度変化量に対応した電気信号レベルΔPase\_inhomoとの和を減算した出力電気信号補正レベルPout' = Pout - (Pase\_homo + ΔPase\_inhomo) として変換された後、利得一定制御回路8に入力される。

利得一定制御回路8に入力された入力光電気信号レベルPinおよび出力電気信号補正レベルPout' が Pout' / Pin = G で、G が一定のレベル比になるように励起光源4に帰還制御を掛けることで、入力信号光レベルに関わらず、常に一定の利得Gとして光増幅器を動作させることができる。

#### 【0014】

次に、ASE電気信号レベルPase\_homoおよび希土類ドープファイバ1の不均一性に起因するASE強度変化量に対応した電気信号レベルΔPase\_inhomoの設定方法について説明する。設定は以下の手順で行う。

(1) 光増幅器の増幅帯域内で、希土類ドープファイバ1の不均一性に起因するASE強度変化量が最も大きな波長において、出力信号光強度が出力ASE強度よりも十分に大きなレベルとなるような最大信号光強度入力条件における利得Gを測定する。

(2) 同波長において、出力信号光強度が出力ASE強度と同程度、あるいは無視できないレベルとなるような最小信号光強度入力条件における利得G' を測定する。

(3) ここで、 $G - G' = \Delta G$  とし、 $G \gg \Delta G$  且つ  $G = G' + \Delta G$  となる  $\Delta G$  を求める。

この利得変化量ΔGは、出力信号光に含まれるASE強度 (Pase\_homo + ΔPase\_inhomo) を表しており、利得誤差補償回路7において、このΔGを利得補償レベルとして設定し、利得誤差補償回路7に入力されたPoutをPout' = Pout + ΔGとして出力補正レベルとして出力する。

なお、この利得補償レベルΔGは、以上の設定手順によって定められた後、利得誤差補償回路7に定数として与えられ、入力信号光強度や入力信号光波長に拠らず常に一定の補償レベルとして設定される。

#### 【0015】

次に、この実施の形態1における発明の効果について説明する。

図2は波長-光出力強度特性を示す特性図であり、入力

信号光強度を変化させた場合の光増幅器出力スペクトルの様子を利得一定制御における利得誤差補償がない場合（a）と、この実施の形態1による利得誤差補償を実施した場合（b）とで比較したものである。ここで、図中、光増幅器の増幅帯域および光信号出力強度は任意の場合のものであり、発明の範囲を限定するものではない。

図から分かるように、この実施の形態1による利得誤差補償を実施することで、広い入力ダイナミックレンジにおける利得一定制御誤差を無視できる程度に小さくすることができている。また、不均一性に起因するASE強度変化量 $\Delta P_{ase\_inhomo}$ は本来波長によりその値が変わる。すなわち、波長依存性がある。しかし、その波長依存性レベルは小さく、補償レベルの内訳において、通常、 $P_{ase\_homo} > \Delta P_{ase\_inhomo}$ といった大小関係が成り立っているため、誤差補償値設定波長以外での利得誤差も無視できる程度に小さくできる。

#### 【0016】

以上のように、この実施の形態1によれば、希土類ドープファイバ1における不均一性に起因するASE強度変化量が最も大きくなる波長において利得補償レベル（ $P_{ase\_homo} + \Delta P_{ase\_inhomo}$ ）を設定し、且つ、それを定数として扱うことにより、広い入力ダイナミックレンジにおいて、光増幅器における簡便且つ高精度な利得一定制御を行うことができる。

#### 【0017】

実施の形態2.

図3はこの発明の実施の形態2による光増幅器を示す構成図であり、図において、前方励起型励起光源4aおよび励起光源合波器5aは、励起光を入力信号光と同じ方向に希土類ドープファイバ1中に入力するものであり、後方励起型励起光源4bおよび励起光源合波器5bは、励起光を入力信号光と逆方向に希土類ドープファイバ1中に入力するものである。なお、前方励起型励起光源4aおよび励起光源合波器5a、後方励起型励起光源4bおよび励起光源合波器5bにより励起光出力手段を構成する。その他の構成については、図1と同一である。

#### 【0018】

次に動作について説明する。

上記実施の形態1では、励起光源が入力信号光と同一方向に入力される前方励起型励起光源である場合について説明したが、励起光源が前方励起型励起光源4aと共に入力信号光と逆方向に入力される後方励起型励起光源4bを併せて備え持つ双方向励起型励起光源を設けても良い。

図4は入力信号光強度－励起光源強度特性を示す特性図であり、この実施の形態2のように双方向励起型励起光源を用いる場合は、全出力光に含まれるASEの内、その殆どが希土類ドープファイバ1の入力端で発生したA

SEが増幅された成分となるように、前方励起光強度が後方励起光強度よりも充分に大きくなるように各励起光源を個別に利得一定制御回路8により制御する。

また、利得一定制御回路8は、前方励起光強度と後方励起光強度との強度比が、入力信号光強度の変化に応じたASE強度変化量が最も小さくなる比率となるように制御する。このように制御することによって、入力信号光のダイナミックレンジをさらに広げることができる。

#### 【0019】

10 以上のように、この実施の形態2によれば、双方向励起型励起光源といった光増幅器方式においても、上記実施の形態1と同様な効果を奏することができる。

#### 【0020】

実施の形態3.

図5はこの発明の実施の形態3による光増幅器を示す構成図であり、図において、利得等化器9は、光分波器2a、2b間に挿入されるものであり、希土類ドープファイバ1における増幅波長特性と逆特性の損失波長特性を有し、その希土類ドープファイバ1の増幅波長特性を平坦化するものである。その他の構成については、図1または図3と同一である。

#### 【0021】

次に動作について説明する。

希土類ドープファイバ1における増幅特性は、一般に波長特性を持つため、信号光波長毎の増幅利得が異なる。したがって、入力光電気信号レベル $P_{in}$ および出力電気信号補正レベル $P_{out}'$ のレベル比が一定となるような利得一定制御を行った場合、入力信号光利得の平均利得が $P_{out}' / P_{in} = G$ となるように制御が行われるが、各波長の利得 $G(\lambda)$ は、信号光波長毎の増幅利得と平均利得の差を $\Delta G(\lambda)$ とすると、 $G(\lambda) = G + \Delta G(\lambda)$ となり、各信号光出力強度に偏差が発生することにより伝送品質を劣化させてしまう。また、光増幅器に入力する信号光波長配置により、 $\Delta G(\lambda)$ が様々に変化してしまう。このため、 $\Delta G(\lambda)$ の逆特性 $\Delta L(\lambda)$ を損失として与えられる利得等化器9を挿入することで、全信号光波長における利得を $G(\lambda) = G$ とほぼ一定にすることができる。

#### 【0022】

40 以上のように、この実施の形態3によれば、利得等化を行うことで、光増幅器の増幅帯域を大きく拡大することができる。上記実施の形態1と同様な効果を奏することができる。

#### 【0023】

実施の形態4.

図6はこの発明の実施の形態4による光増幅器を示す構成図であり、図において、補償レベル設定器10は、利得補償レベルを任意に設定可能なものであり、減算器11は、出力光電気信号レベル $P_{out}$ から補償レベル設定器10により設定された利得補償レベルを減算し、出



力電気信号補正レベル  $P_{out}'$  を発生するものである。その他の構成については、図 1、図 3 または図 5 と同一である。

#### 【0024】

次に動作について説明する。

上記実施の形態 1 から 3 において、利得誤差補償回路 7 における利得補償レベルを、入力信号光強度に依存しない電気的な定数として与えても良い。

図 6 において、光レベル検出器 3 b に入力された出力信号光強度は、出力光電気信号レベル  $P_{out}$  に変換され、減算器 11 に入力される。また、予め定数として設定された補償レベル設定器 10 からの利得補償レベル ( $P_{ase\_homo} + \Delta P_{ase\_inhomo}$ ) も減算器 11 に入力され、その減算器 11 によって、 $P_{out}' = P_{out} - (P_{ase\_homo} + \Delta P_{ase\_inhomo})$  と出力電気信号補正レベルに変換され、利得一定制御回路 8 へ出力される。

したがって、減算器 11 を例えば汎用的なオペアンプとすれば、補償レベル設定器 10 は電気的な一定値として扱うことができるため、抵抗程度の分圧器といった簡便で安価な構成で達成することができる。

#### 【0025】

以上のように、この実施の形態 4 によれば、利得補償レベルを電気的な一定値として設定することで、簡易且つ安価に上記実施の形態 1 と同様な効果を奏することができる。

#### 【0026】

##### 【発明の効果】

以上のように、この発明によれば、入力光レベル検出手段により検出された入力光電気信号レベル、出力光レベル検出手段により検出された出力光電気信号レベル、予め設定されその検出された出力光電気信号レベルに含まれる自然放出光電気信号レベル、および予め設定され入力信号光条件の変化に応じた自然放出光強度変化量に対

応した電気信号レベルに基づいて励起光出力手段を制御し、光増幅器を利得一定制御する制御手段を備えるように構成したので、光増幅器において利得一定制御する際に誤差要因となる自然放出光の影響を、希土類ドープファイバにおける不均一性に起因する自然放出光強度変化量をも含めて補償することができ、入力信号光条件、増幅器種類、および増幅器励起方式に関わらず高精度且つ簡易に利得一定制御を可能とする光増幅器が得られる効果がある。

#### 10 【図面の簡単な説明】

【図 1】この発明の実施の形態 1 による光増幅器を示す構成図である。

【図 2】波長—光出力強度特性を示す特性図である。

【図 3】この発明の実施の形態 2 による光増幅器を示す構成図である。

【図 4】入力信号光強度—励起光源強度特性を示す特性図である。

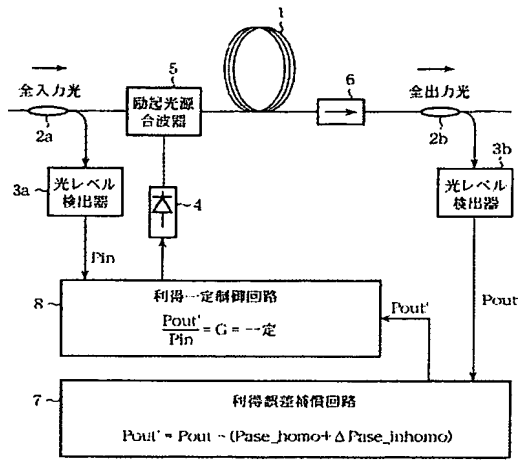
【図 5】この発明の実施の形態 3 による光増幅器を示す構成図である。

20 【図 6】この発明の実施の形態 4 による光増幅器を示す構成図である。

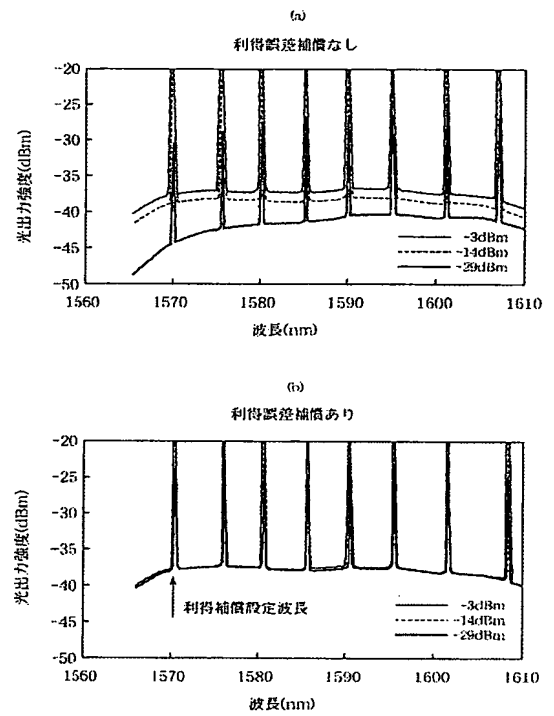
#### 【符号の説明】

1 希土類ドープファイバ、2 a 光分波器（入力光レベル検出手段）、2 b 光分波器（出力光レベル検出手段）、3 a 光レベル検出器（入力光レベル検出手段）、3 b 光レベル検出器（出力光レベル検出手段）、4 励起光源（励起光出力手段）、4 a 前方励起型励起光源（励起光出力手段）、4 b 後方励起型励起光源（励起光出力手段）、5、5 a、5 b 励起光源合波器（励起光出力手段）、6 アイソレータ、7 利得誤差補償回路（制御手段）、8 利得一定制御回路（制御手段）、9 利得等化器、10 補償レベル設定器、11 減算器。

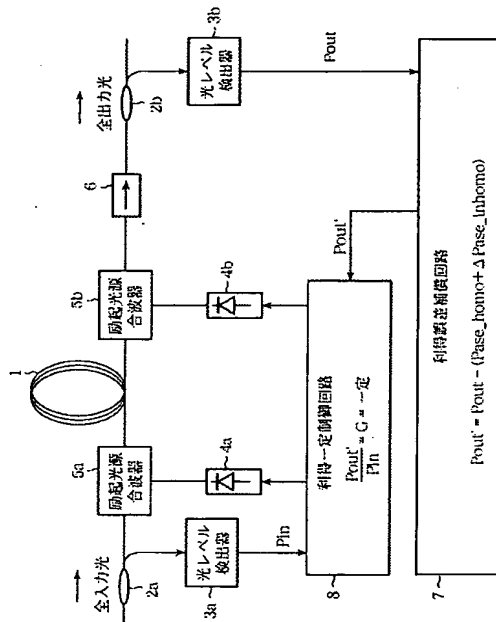
【図 1】



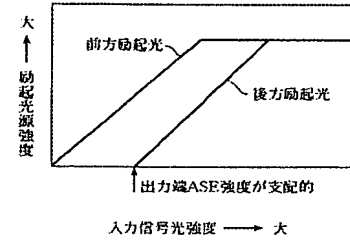
【図 2】



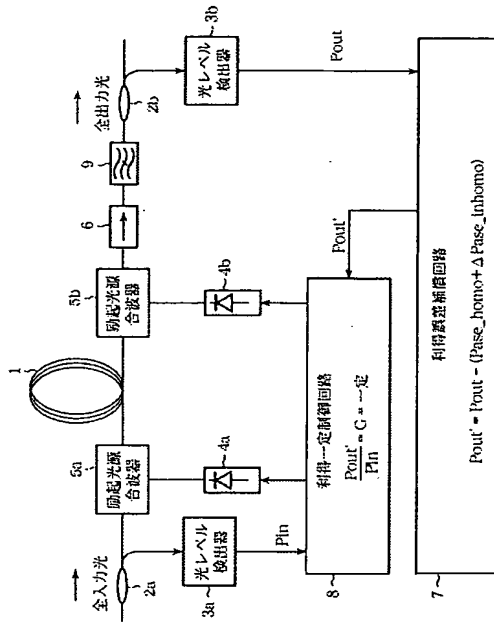
【図3】



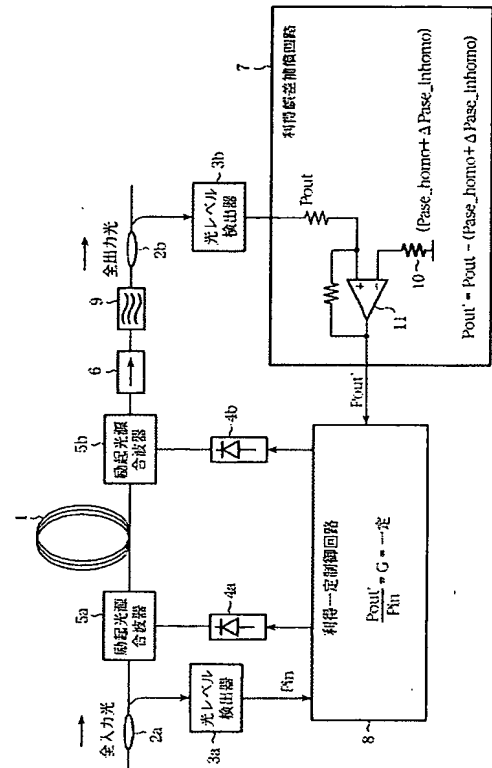
【図4】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7

H 0 4 B 10/16

H 0 4 B 10/17

H 0 4 B 10/18

F ターム(参考) 5K102 AA01 AA53 AA55 AD01 KA15 KA39 KA40 MB06 MC13 MD01

MD02 MD03 MH03 MH04 MH12 MH13 MH14 MH22 PH49 RD02

F I

テーマコード(参考)